

領域略称名：バルクナノメタル
領域番号：2201

平成24年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る研究経過等の報告書

「バルクナノメタル 一常識を覆す新しい構造材料の科学」

(領域設定期間)
平成22年～平成26年

平成24年6月

領域代表者 京都大学・工学研究科・教授・辻 伸泰

目 次

目次	・ ・ ・ ・ ・ 1
1. 研究領域の目的及び概要	・ ・ ・ ・ ・ 2
2. 研究の進展状況	・ ・ ・ ・ ・ 3
3. 研究を推進する上での問題点と今後の対応策	・ ・ ・ ・ ・ 5
4. 主な研究成果	・ ・ ・ ・ ・ 6
5. 研究成果の公表の状況	・ ・ ・ ・ ・ 9
6. 研究組織と各研究項目の連携状況	・ ・ ・ ・ 2 1
7. 研究費の使用状況	・ ・ ・ ・ 2 4
8. 今後の研究領域の推進方策	・ ・ ・ ・ 2 6
9. 総括班評価者による評価の状況	・ ・ ・ ・ 2 7

1. 研究領域の目的及び概要

研究領域名： バルクナノメタル –常識を覆す新しい構造材料の科学
研究機関： 平成22年度～平成26年度
領域代表者： 京都大学・工学研究科・教授・辻 伸泰
補助金交付額（各年度の研究領域全体の直接経費の総額）：
平成22年度 172,300,000円
平成23年度 194,100,000円（追加配分、公募研究を含む）
平成24年度 192,300,000円（公募研究を含む）
平成25年度 127,500,000円（公募研究を含まない）
平成26年度 128,400,000円（公募研究を含まない）

本研究の目的は、「マトリクスを構成する結晶粒や相が1 μm以下のサイズを有する均一なバルク状金属系材料」=Bulk Nanostructured Metals（バルクナノメタル）を研究対象に、それらが示す常識を超えた力学特性をはじめとする新規な物性・特性を、様々な分野背景を有する研究者が最先端の独自の研究手法を駆使し、緊密な連携を図って明らかにして、サブミクロン領域に潜む新たな材料科学の学術領域を打ち立てることである。この目的を実現するために、関連する分野で世界的に活動する多様な研究者を組織し、また材料科学における実験と計算の融合を目指す。さらには、新進気鋭の若手研究者を多数参画させ、国際競争力を有する人材の育成にも力を入れている。

多結晶金属材料を構成する結晶粒の大きさを細かくすれば、種々の特性が向上することが経験的に知られている。しかし現在に至っても、工業的に用いられているバルク金属材料の最小平均粒径は約10μm程度である。ところで、異なる方位を持ち隣接する結晶粒の境界（粒界）においては、原子の3次元的な周期配列が乱れ、粒内とは異なる構造を有している。そのため、「粒界だらけ」のバルクナノメタルは、従来の金属とは全く異なる物性・特性を示す。例えば、バルクナノメタルは従来粒径材の4倍にも達する強度を示し、その結果、鉄鋼材料並みの強度を有するアルミニウムが実現できる。バルク

ナノメタルは過去の合金設計概念を覆して、単純な化学組成で優れた特性を示し希少資源を消費せずにリサイクル性にも優れた構造材料を実現する。すなわち、バルクナノメタルは、金属材料の不連続的、飛躍的な発展を可能とし、新しい環境・エネルギー技術を支える新材料として、持続的な社会の発展に資することができる。

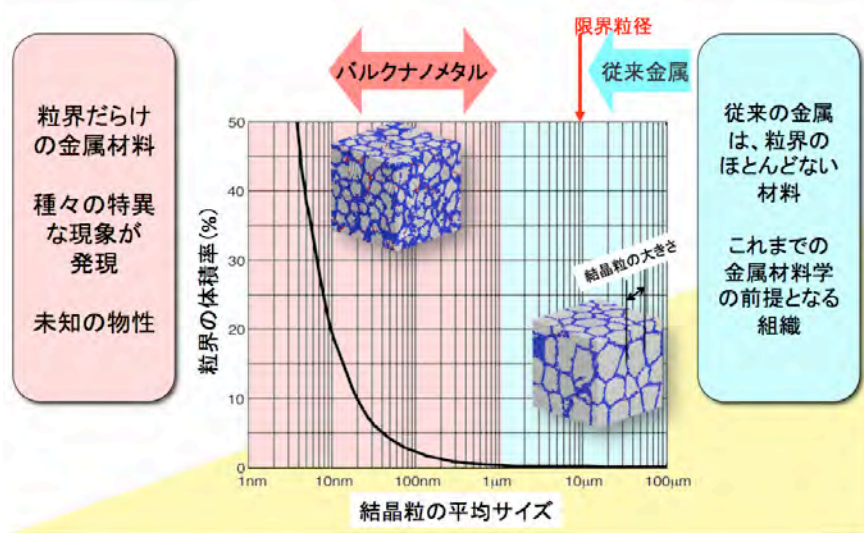


図1.1 従来金属とバルクナノメタルにおける粒界の割合

2. 研究の進展状況

領域採択後2年間を経過し、この間、東日本大震災により一部の研究機関（NIMS、茨城大学、J-PARC）が被災し、領域の平成22年度末報告会も中止になるという予期せぬ事態も生じたが、領域の研究は順調に進捗している。その成果は、後述するように、学術雑誌論文256編、国際会議論文151編、学会発表628件などとして、多数報告・公表されており、期待以上の成果が得られている。特に、研究室の枠組みを越えた連携的な研究が活発に行われている。非常に多数の合同勉強会・研究会が開催されているほか、例えば上述の学術雑誌論文のうち、50編が複数の研究室間の連携の成果であり、その数はさらに増えると考えられる。また当初の期待通り、実験研究と計算・理論研究の間の対話・共同研究が着実に進み、今後さらに大きな成果として結実することが期待される。個々の研究項目毎の研究進展状況は、下記の通りである。

研究項目1：バルクナノメタルの材料設計概念の確立（A01）

A01ア：バルクナノメタルの材料設計

多様なプロセスにより作製された、種々の合金系のバルクナノメタルの構造と基礎力学特性を系統的に調査し、強度と延性・靱性を両立させたバルクナノメタル系をいくつか見いだすとともに、高圧相の安定化や優れた高速変形特性など、バルクナノメタルの特異現象を明らかにした。また、TEM内ナノ領域結晶方位解析システムを新たに導入したほか、従来から保有しているSTEM/HAADF法や、TEM3次元トモグラフィ法、3D-AP法などの先端材料解析手法を駆使し、他のグループと連携しながらバルクナノメタルのナノ構造解析を進めている。

A01イ：第一原理計算によるバルクナノメタルの基礎物性設計

基礎物性設計指針の確立に不可欠な、分子動力学計算の高効率の加速手法、電子論に立脚した局所応力の評価法を世界に先駆けて開発することに成功した。また、これらの手法に基づいて、バルクナノメタルのクリープ変形メカニズムを原子論から明確にし、さらには、粒界の強度を電子論から説明した。

研究項目2：多様なプロセスによるバルクナノメタルの製造手法の確立（A02）

A02ウ：構造精密制御したバルクナノメタルの創製

ECAP, HPT, ARB, MDなどの様々な巨大ひずみ加工法に加え、電析法や粉末冶金法も含めたバルクナノメタルの製造プロセスをほぼ網羅して整備し、領域内の他班に実験用試料を提供する体制を構築した。種々の金属材料でバルクナノメタルの製造が可能になっており、いずれも超微細化することで飛躍的な高強度化を達成しているほか、異なる金属種の間での共通の微細化機構も見いだされている。共同研究や連携研究も順調に進み、力学特性のみならず、新たに発見された機能特性も含めて結晶粒超微細化の重要性が示されている。

A02エ：バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション

『塑性変形限界の真の応力-ひずみ関係に関する基礎データの確立』『強せん断変形によるバルクナノメタル創製の物理シミュレーション』『加工ひずみ制御によるバルクナノメタル創製の有限要素シミュレーション』『塑性加工限界のマルチスケールシミュレーションのための基礎データの確立』を研究課題として実施している。合計7回の班会議を実施し、密な連携研究の実施を心掛けた。各研究機関にて導入された設備や研究状況を実見することで、0.8mm超微細粒鋼を目指した強加工プロセスの物理シミュレーション（中止めせん断，フリーモーシオンECAE，溝ロール圧延）およびこれらの変形機構のFEMによる定量化を可能とした。

研究項目3：バルクナノメタルの特異な力学特性の解明と体系化（A03）

A03オ：バルクナノメタルにおける力学特性の解明と変形理論構築

中性子その場観察，EBSD測定，電気抵抗測定，STEM顕微鏡観察などを駆使して，超微細粒材料中の格子欠陥（転位，結晶粒界など）の存在状態と存在量の定量化を行い，バルクナノ金属の変形・破壊特性を明らかにした。また，バルクナノメタルで支配的になると考えられる，粒界からの張り出しによる転位発生機構を考案し，それに基づく理論によって，バルクナノCuの活性化体積の変化を説明することに成功した。

A03カ：内部欠陥構造発展の大規模計算によるバルクナノメタルの力学特性解析

バルクナノメタルが示す低温破壊靱性値の向上するメカニズムについて，A03オ班と共同研究を実施し，理論・実験・原子シミュレーションを組み合わせることで，粒界の転位源能力と回転型の格子欠陥である回位の形成が破壊靱性値向上に重要な要因であることを提案した。また，粒界から転位が放出するときの静水圧依存性を原子シミュレーションから定量的に評価し，これらの値を粒界の転位源能力を考慮させた結晶塑性解析の構成式に反映させることで，バルクナノメタルの強度に対する静水圧依存性を表現できるモデルを構築した。

3. 研究を推進する上での問題点と今後の対応策

全体として本領域の研究は順調に進んでおり、大きな問題点はない。多様な作製プロセスが準備され、様々な金属・合金系においてバルクナノメタルの作製が可能となっている。そうして得られたバルクナノメタル試料を用いた連携研究が、日常的に行われるようになっており、個別の科研費プロジェクトでは得られない、新学術領域でチームを組むことのメリットが成果に大きく表れはじめている。特に、計算研究と実験研究の対話が進み、実験のみでは得ることのできない知見が得られるとともに、バルクナノメタルの変形・破壊に関する理論構築が開始されている。総括班は、領域内の個々の研究者を束ね、全体を方向付けマネジメントすることに成功している。

このように全体としての大きな問題点は見当たらないが、個別の項目や将来展望に関しては、以下のような問題点と解決策が考えられる。

①バルクナノメタルの変形機構の理解に関して：結晶粒界と転位の役割を理解するため、計算科学とのより一層の連携が必要。またこれまで得られた成果を鑑みると、100nmを挟んで大小の結晶粒径を持つ材料での変形機構の類似点と相違点を明確にすることが重要であると考えられる。

②第一原理計算に関して：これまで基礎物性設計に必要な解析手法を確立し、それらの有効性の確認やそれらを用いた解析を、純金属のバルクナノメタルについて実施してきたが、ユニバーサルな基礎物性設計指針の提供に向けて、今後は、合金系や不純物のある系について解析を拡張する必要がある。そのためには、電子状態計算と古典分子動力学計算を結ぶ第一原理原子間ポテンシャル作成のための効率よい手法の開発を進める必要がある。

③大規模力学計算に関して：原子シミュレーションを用いて傾角粒界の転位源能力について系統的な研究を実施しているが、その理論を一般粒界へ拡張するところまで達していない。粒界転位源能力の一般的な定式化が可能となれば、結晶塑性解析の構成式に反映させることができ、粒内転位源と粒界転位源を反映させたバルクナノメタルモデルを提案することが可能となる。そのため、ねじり粒界の転位源能力について知見を深める必要がある。また、結晶塑性解析においては、解析モデルにおける粒界領域の取り扱い方が、粒界体積比の粒径依存性に重要である。そのため、今後は、一般的な（ランダム）粒界の転位源能力の解明と、その情報を物理的に矛盾なく考慮することが可能となる結晶塑性モデルの開発が必要である。

④実験遂行に関して：昨年夏は電力需給のひっ迫により、昼間での実験の実施に支障が出た機関があった。本年度以後も同様な状況が予想されるので、夜間の実施など行うことで実験工数が減らないように心掛けるといった対策が必要になる。

⑤将来の構造材料としての実用化を展望した場合の課題：ラボレベルの小型材料では特徴的な研究成果が得られているものの、大型材での作り込みは課題である。素材メーカーなどとの意見交換を通じて、実用化を目指した新たなプロジェクトの構築が考えられる。

4. 主な研究成果

研究項目毎の主な研究成果を以下に記述する。

研究項目 1 : バルクナノメタルの材料設計概念の確立 (A01)

A01ア: バルクナノメタルの材料設計

①強度と延性を両立させたバルクナノメタルの発見: 単相バルクナノメタルは、高い強度を示すが、早期の塑性不安定発現により均一伸びに乏しいというのがこれまでの理解であった。しかしながら、純Tiや高Mnオーステナイト鋼など複数の材料で、単相バルクナノメタルであっても高い強度と延性が両立されるという興味深い結果が見いだされた。図4.1に、純Tiの応力ひずみ曲線を示す。結晶粒微細化によって強度が大きく増加するが、十分大きな伸びが得られている。これ

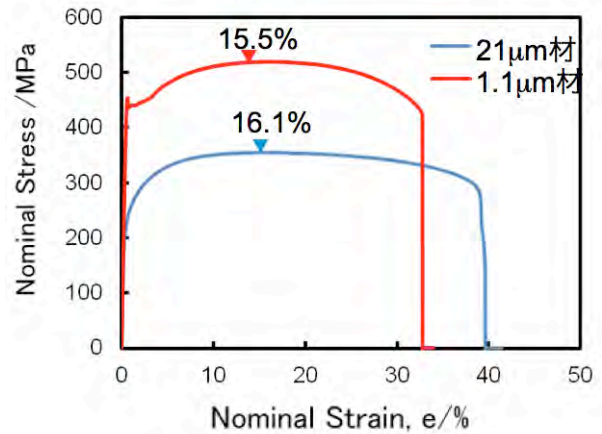


図4-1 粒径の異なる2種の純Tiの応力ひずみ曲線。

は、微細粒Tiでは通常は活動しないすべり系が活性化され、加工硬化が促進されるためであることが示唆されている。

②転位-粒界の反応の三次元観察: [001] (210) $\Sigma 5$ 対称傾角粒界を有するMo双結晶に[001]圧縮を施し、粒界近傍転位の(S)TEM-CT観察を行った。粒界を共有する各結晶について三次元画像データを取得し、それらを組み合わせれば、図4-1のように、任意のタイプの粒界について転位組織の三次元観察が可能であることを明らかにした。「粒界だらけ」のバルクナノメタルにおける変形を司る、転位と粒界の反応を直視観察し解明するための技術的基盤が確立された。

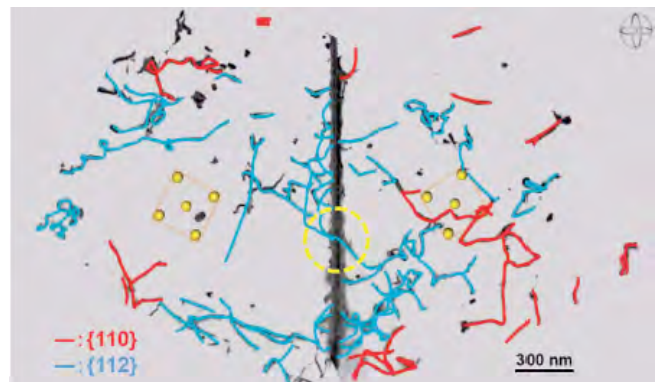


図4-2 粒界近傍転位の三次元再構成画像

A01イ: 第一原理計算によるバルクナノメタルの基礎物性設計

③バルクナノメタルのクリープ変形挙動の分子動力学法による解析: バルクナノメタル(Cu結晶)の高温でのクリープ変形挙動を分子動力学法を用いて解析し、温度および応力によって変形メカニズムがどう変化するかの変形

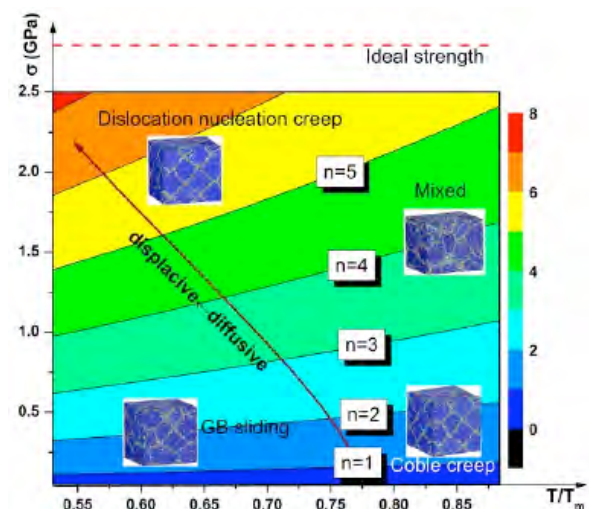


図4-3 分子動力学解析により得られたバルクナノメタル (Cu) の変形機構図

メカニズムマップを構築した。クリープ変形時に得られるひずみ速度が、活性化体積の異なる粒界拡散、粒界移動、転位生成の3つの素過程の線形重ね合わせでほぼ説明できることを明らかにし、バルクナノメタルの変形の温度、ひずみ速度依存性に関して明確な説明を与えることに成功した。

④金属中の積層欠陥の第一原理解析：第一原理電子状態計算における局所応力解析をさらに発展させ、応力を評価する領域を最適化することにより、粒界部での局所応力解析の精度を飛躍的に高め、**FCC**純金属における積層欠陥エネルギーを定量化するとともに、その起源を電子論から明らかにすることに成功した。例えば①で言及した高**Mn**鋼における強度と延性の両立は、同材料の極めて低い積層欠陥エネルギーによるものであることが示唆されており、今後この手法を合金系に拡張することによって、強度・延性両立の基礎原理の一つの解明に寄与できるものと考えられる。

研究項目 2：多様なプロセスによるバルクナノメタルの製造手法の確立 (A02)

A02ウ：構造精密制御したバルクナノメタルの創製

⑤難変形材料の巨大ひずみ加工とナノ組織化：HPT法を適用することにより、共有結合性の強い金属間化合物や、アルミナ、ジルコニアなどの酸化物セラミックス、果てはSiに至るまで、破壊を起こさずに巨大ひずみ加工が可能であることを見いだした。図4-4に、HPT加工されたジルコニアセラミックスのXRDプロファイルを示す。巨大ひずみ加工により、ジルコニアは正方晶から単斜晶に相変態し、25nmのナノ結晶を形成することが明らかとなった。

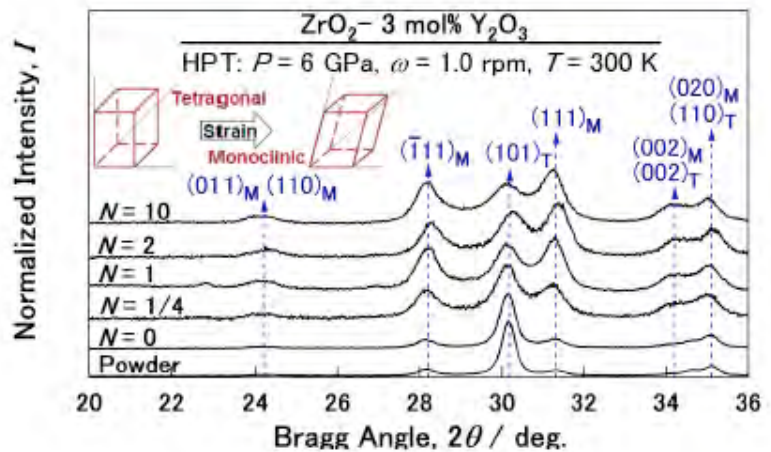


図4-4 HPT加工したジルコニアセラミックスのXRDプロファイル

⑥超強加工粉末冶金法を用いた高強度・高延性調和組織制御材料の創製：粉末のミリングプロセスを制御することにより、微細結晶粒の領域と粗大結晶粒の領域が図4-5の模式図に示すように規則性を持って配置した調和組織材料を創製し、それらが高い強度と十分な延性を両立することを見いだした。

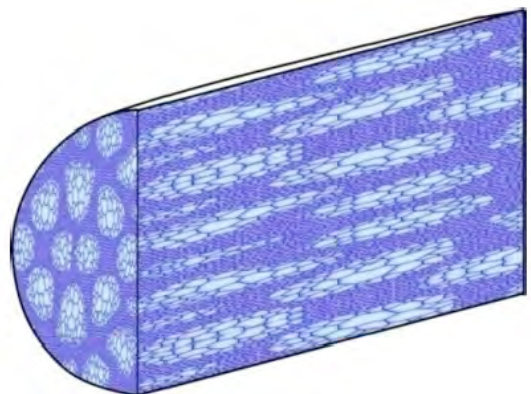


図4-5 調和組織の模式図

A02エ：バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション

⑦強せん断加工によるナノ組織形成の物理シミュレーション：熱間でせん断試験 (SPD) を行える実験手法として「中止めせん断加工試験法 (Interrupt shearing test)」を新た

に提案し、装置を構築して試験方案の確立のためNb鋼による試験を行った。ひずみの定量化とともに、強加工域での超微細粒組織形成を確認した。

研究項目3：バルクナノメタルの特異な力学特性の解明と体系化 (A03)

A03オ：バルクナノメタルにおける力学特性の解明と変形理論構築

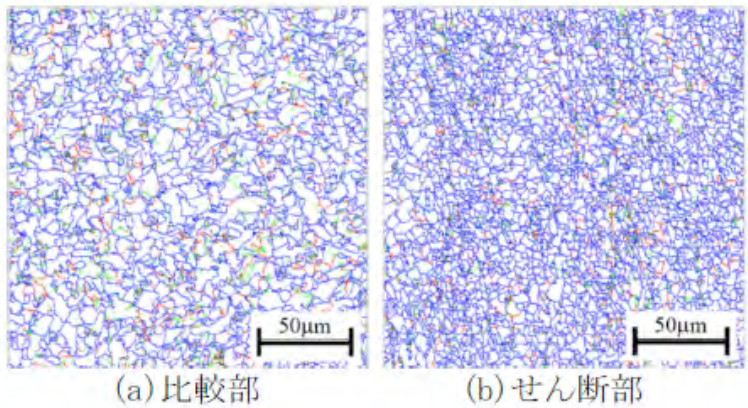


図4-6 せん断加工されたNb添加低炭素鋼のバウンダリーマップ

⑧バルクナノメタルにおける転位生成理論の提案：「粒界だらけ」のバルクナノメタルにおける変形の律速機構として、粒界からの転位の張り出しに基づくモデルを構築し、提案した。このモデルを用いれば、超微細粒Cuで見いだされた活性化体積の逆温度依存性という特異現象を説明できることを明らかにした。バルクナノメタルにおいて、転位すべりが変形を担う場合に現れる種々の特異現象を統一的に説明する理論の重要要素として、注目すべき成果であると言える。

⑨電析微細粒純鉄の変形の伴う結晶粒の合体：電析により作製した超微細粒純鉄の引張変形中に、その場中性子回折とその場EBSD測定を行い、図4-7に示すように、室温での引張変形であるにもかかわらず、柱状超微細結晶が回転・合体する特異な変形挙動を示すことを見いだした。

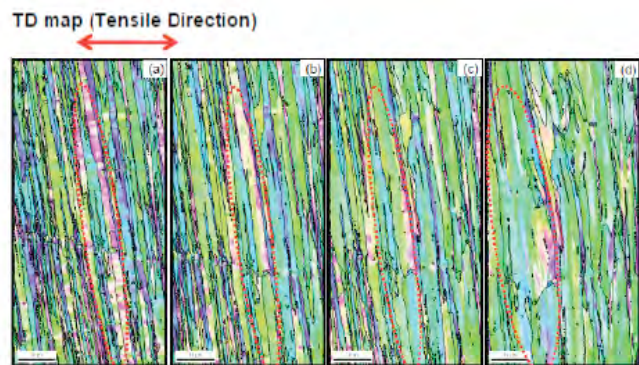


図4-7 引張変形中の超微細柱状結晶粒の合体

A03カ：内部欠陥構造発展の大規模計算によるバルクナノメタルの力学特性解析

⑩バルクナノメタルにおける低温破壊靱性向上メカニズムの大規模力学計算による解明：A01ア班グループの以前の研究により、超微細粒フェライト鋼においては低温破壊靱性が向上するらしきことが示唆され、A03オ班グループにその詳細が実験的に確かめられた。本研究では、原子スケール分子動力学計算を用いて、バルクナノメタルの破壊靱性向上メカニズムを検討し、亀裂から発生した転位と粒界の反応と回位欠陥の形成によって亀裂先端が遮蔽されるというメカニズムを可視化し、明らかにした。

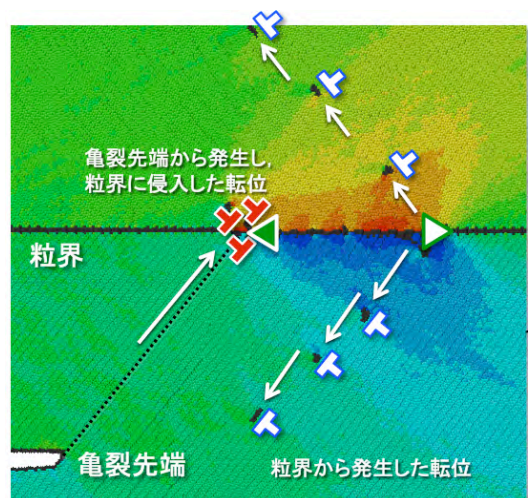


図4-8 き裂先端から発生した転位と粒界の相互作用を示すMD計算結果

5. 研究成果の公表の状況

これまでの2年間に得られた研究成果の総数を下表に示す。

種別	総数	備考
学術雑誌論文	256編	うち、領域内の複数の研究室間の連携研究成果50編
国際会議論文	151編	うち、領域内の複数の研究室間の連携研究成果23編
解説・総説論文	19編	
著書	20件	
国内・国際学会発表	628件	
特許	7件	出願
受賞	77件	うち、40歳未満の若手の受賞12件、ポスター賞など学生の受賞41件
国際会議基調・招待講演	96件	うち、40歳未満の若手によるもの14件
国内会議招待講演	85件	うち、40歳未満の若手によるもの22件
報道	20件	

また、学術雑誌のうち、材料科学・工学分野における国際的な一流誌への掲載数は、下記の表の通りである。

雑誌名	件数	Impact Factor
Acta Materialia	10編	3.781
Scripta Materialia	23編	2.806
Philosophical Magazine	4編	1.302
Physical Review B	6編	3.772
Applied Physics Letter	1編	3.820
Materials Science and Engineering A	24編	2.101
Metallurgical and Materials Transactions A	8編	1.721

さらに、Elsevier社のTop 25 Hottest Articles（各期間に最もダウンロード数の多かった注目論文25傑：<http://top25.sciencedirect.com/>）に、本領域からの論文が以下のようにランクインしている。

期間\雑誌名	Acta Materialia	Scripta Materialia	Materials Science & Engineering A	CIRP Annals
July - Sep. 2010	-	11位、12位、23位	-	10位
Oct. 2009 - Sep. 2010 Academic Year	-	-	-	3位
Oct. - Dec. 2010	-	15位	-	6位
Jan. - Mar. 2011	-	7位	-	7位
Apr. - June 2011	-	5位、16位	-	5位
July - Sep. 2011	12位	13位、24位	4位	15位

Oct. – Dec. 2011	3位、7位、15位	1位、2位、9位	1位、2位、3位、4位、 5位、6位、8位、14位、 17位、19位、20位	5位
Jan. – Dec. 2011 Full Year	18位、24位	1位、2位、7位	1位、2位、3位、16位、 25位	6位
Jan. – Mar. 2012	-	7位	15位	7位

(1) 主な論文等の一覧

(i) 学術雑誌論文（総数256編、うち領域内の複数の研究室間の連携研究成果50編：以下には主要なもののみ示す）

- [1] “New Routes for Fabricating Ultrafine Grained Microstructures in Bulky Steels without Very High Strains”, *N.Tsuji: Adv. Eng. Mater., Vol.12, Iss.8 (2010), pp.701-707.
- [2] “Change in Electrical Resistivity of Commercial Purity Aluminum Severely Plastic Deformed”, *Y.Miyajima, S.Komatsu, M.Mitsuura, S.Hata, H.Nakashima and N.Tsuji: Phil. Mag., Vol.90 (2010), Issue 34, pp.4475-4488.
- [3] “Formation of Bimodal Grain Structures in High Purity Al by Reversal High Pressure Torsion”, *D.Orlov, Y.Todaka, M.Umemoto and N.Tsuji: Scripta Mater., Vol.64, No.6 (2011), pp.498-501.
- [4] “Dynamic Deformation Behavior of Ultrafine Grained Iron Produced by Accumulative Roll Bonding and Annealing”, *Y.Okitsu, N. Takata, N.Tsuji: Scripta Mater., Vol. 64 (2011), pp.896-899.
- [5] “Formability of Ultrafine Grained Interstitial-Free Steel Fabricated by Accumulative Roll-Bonding and Subsequent Annealing”, *R.Yoda, K.Shibata, T.Morimitsu, D.Terada and N.Tsuji: Scripta Mater., Vol.65 (2011), pp.175-178.
- [6] “Towards the development of heat treatable high strength wrought Mg alloys”, *K. Hono, C. L. Mendis, T. T. Sasaki, and K. Oh-ishi: Scripta Mater., Vol. 63 (2010), pp.710 - 715.
- [7] “Unexpected influence of Mn addition on the creep property in a cast Mg-2Al-2Ca (mass%) alloy”, T. Homma, S. Nakawaki, K. Oh-ishi, K. Hono, *S. Kamado: Acta Mater. Vol. 59 (2011) Issue 20, pp. 7662 - 7672.
- [8] “Measurement of strain and strain relaxation in freestanding Si membranes by convergent beam electron diffraction and finite element method”, *H. Gao, K. Ikeda, S. Hata, D. Wang and H. Nakashima: Acta Materialia, Vol. 59 (2011), pp. 2882-2890.
- [9] “Significant change in mechanical properties of deep drawn ultrafine grained copper wire by additional deformation”, *K.Hanazaki, J.Tokutomi, J.Yanagimoto and N.Tsuji: Mater. Sci. Eng. A, Vol 534 (2012), pp. 720-723.
- [10] “Effect of Grain Size and Grain Orientation on Dislocations Structure in Tensile Strained TWIP Steel During Initial Stages of Deformation”, Ghasem Dini and *Rintaro Ueji: Steel Research International, 83 (2012), pp.374-378.
- [11] “Slow diffusion of hydrogen at a screw dislocation core in a-iron”, *H.Kimizuka and S.Ogata: Phys. Rev. B, Vol.84 (2011), Issue 2, pp. 024116-1-6.

- [12] “Transition of creep mechanism in nanocrystalline metals”, Y. J. Wang, A. Ishii and *S.Ogata: Phys. Rev. B, Vol. 84 (2011), Issue 22, pp. 224102-1-7.
- [13] “Cold Consolidation of Ball-Milled Titanium Powders Using High-Pressure Torsion”, *K. Edalati, Z. Horita, H. Fujiwara and K. Ameyama: Metallurgical and Materials Transactions A, 41, 3308-3317, (2010)
- [14] “Hydrogen trapping on lattice defects produced by high-pressure torsion in Fe-0.01 mass% C alloy”, *Y. Mine, T. Tsumagari and Z. Horita: Scripta Materialia, 63, 552–555, (2010).
- [15] “Nano-grain evolution in austenitic stainless steel during multi-directional forging” Y.Nakao, *H. Miura, : Materials Science Engineering A 528 (2011), pp. 1310-1317.
- [16] “High-pressure torsion of pure metals: Influence of atomic bond parameters and stacking fault energy on grain size and correlation with hardness”, *K. Edalati and Z. Horita: Acta Materialia, 59, 6831-6836, (2011).
- [17] “Enhancement of uniform elongation in high strength Ti–Mo based alloys by combination of deformation modes”, X. H. Min, K. Tsuzaki, S. Emura and *K. Tsuchiya: Mater. Sci. Eng. A528 (2011) 4569-4578.
- [18] “Stress-Corrosion Cracking of Aluminum–Magnesium Alloy Processed by Equal-Channel Angular Pressing”, *H. Nakano, S. Oue, S. Taguchi, S. Kobayashi and Z. Horita: International Journal of Corrosion, Article ID 543212, 8 pages (2012).
- [19] “Continuous Bending-Drawing Process to Manufacture the Ultrafine Copper Wire with Excellent Electrical and Mechanical Properties”, *J. Yanagimoto, J. Tokutomi, K. Hanazaki and N. Tsuji: CIRP Annals, Vol.60-1(2011), pp.279-282.
- [20] “Effect of Ti Addition on Tensile Properties of C-Mn Steels Subjected to ECAE and Heat Treatment”, *A. Yanagida, K. Okazaki, K. Ishikawa and A. Azushima: Steel Research International, 81(2010), 462-465.
- [21] “Stress-Induced Martensitic Transformation Behaviors at Various Temperatures and Their TRIP Effects in SUS304 Metastable Austenitic Stainless Steel ”, *N.Tsuchida, Y.Morimoto, T.Tonan, Y.Shibata, K.Fukaura and R.Ueji : ISIJ International, Vol.51 (2011), pp.124-129.
- [22] “Static fracture toughness of fail-safe steel”, *T.Inoue, Y.Kimura and S.Ochiai: SCRIPTA MATERIALIA, Vol. 65 (2011), Issue 6, pp.552-555.
- [23] “Effect of ausforming on nanobainite steel”, *W.Gong, Y.Tomota, M.S.Koo and Y.Adachi: *Scr. Mater.*, Vol.63 (2010), issue 8, pp.819-822
- [24] “Reversible nature of shear bands in copper single crystals subjected to iterative shear of ECAP in forward and reverse directions”, *H. Miyamoto, T. Ikeda, T. Uenoya, A. Vinogradov and S. Hashimoto: *Mater. Sci. Eng. A*, Vol.528 (2011), Issue 6, pp.2602-2609.
- [25] “Crack tip dislocations observed by combining scanning transmission electron microscopy and computed tomography”, *S. Sadamatsu, M. Tanaka, K. Higashida, K. Kaneko, M. Mitsuhashi, S. Hata, M. Honda: *Adv. Mater. Res.* 89-91 (2010), pp.473-478.
- [26] “Retardation of Softening of Ultrafine-Grained Copper during Low Temperature Annealing under Uniaxial Tensile Stress”, *Y. Miyajima, T. Aragaki, H. Adachi, T. Fujii, S. Onaka and M. Kato: Mater. Trans., Vol.53 (2012), pp. 96-100.

- [27] “Effect of Deformation Temperature on Microstructure Evolution in ARB Processed Ultralow Carbon IF Steel”, *N. Kamikawa and N. Tsuji: Mater. Trans., Vol.53 (2012), pp. 30-37.
- [28] “Asymmetric ability of grain boundaries to generate dislocations under tensile or compressive loadings”, *T. Shimokawa: Phys. Rev. B, Vol.82 (2010), 174122.
- [29] “Roles of Grain Boundaries in Improving Fracture Toughness of Ultrafine-Grained Metals”, *T. Shimokawa, M. Tanaka, K. Kinoshita, and K. Higashida: Physical Review B, Vol. 83, (2011), pp. 214113(1-13).
- [30] “Crystal Plasticity Simulation Considering Oxidation along Grain Boundary and Effect of Grain Size on Stress Corrosion Cracking”, *Y. Aoyagi and Y. Kaji: Materials Transactions, Vol. 53, No. 1, (2012), pp. 161-166.

(ii) 国際会議論文（総数151編、うち領域内の複数の研究室間の連携研究成果23編：以下には主要なもののみ示す）

- [1] “Recrystallization or Not?: Formation Mechanism of Ultrafine Grains in Aluminum through Severe Plastic Deformation and Subsequent Annealing”, *N. Tsuji and N. Kamikawa: Proc. of ICAA 12, The Japan Institute of Light Metals (2010), pp.1134-1140.
- [2] “Three-dimensional evaluation of dislocation arrangements using electron tomography in austenitic steel”, *M. Mitsuhashi, S. Hata, K. Ikeda, H. Nakashima, M. Tanaka, K. Higashida: Proc. 31st Riso International Symposium on Materials Science: Challenges in materials science and possibilities in 3D and 4D characterization techniques, Eds. N. Hansen, D. J. Jensen, S. F. Nielsen, H. F. Poulsen and B. Ralph, Riso National Laboratory for Sustainable Energy, Technical University of Denmark (2010), pp.353-360.
- [3] “Hydrogen embrittlement behavior of bulk nanostructured pure Fe produced by high-pressure torsion straining”, *Y. Todaka, K. Morisako, Y. Matsumoto, R. Ueji, Y. Nagaki, M. Umemoto: Extended abstract book of the Int. Symp. on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM 2010)
- [4] “First-Principles Study of the Bonding and Mechanical Properties of Metallic Grain Boundaries”, *M. Kohyama, S. Tanaka, R.Z. Wang, Y. Shiihara, S. Saitou, T. Tamura and S. Ishibashi: Proceedings of 12th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA12), The Japan Institute of Light Metals (2010)
- [5] “Creation of Harmonic Structured Materials with Outstanding Mechanical Properties”, *K. Amezawa, H. Fujiwara, T. Sekiguchi, Sabrina N.B.R., M. Rifai: Proceedings of International Symposium on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM2010) “Production of Multifunctional Materials Using Severe Plastic Deformation” edited by Z. Horita, Kyushu University Press, Fukuoka (2011), p.80-83.
- [6] “Grain refinement of coarse grained gold by combined thermo-mechanical process of severe plastic deformation and low temperature annealing”, *H. Miura, I. Itabashi, G. U and T. Sakai: Proceedings of 15th international conference on the strength of materials (ICSMA-15), Journal of physics :conference series 240 (2010)
- [7] “Optimum Pass Design of Bar Rolling for Producing Bulk Ultrafine-grained Steel by Numerical Simulation”, *T. Inoue: Materials Science Forum on The 7th Pacific Rim International Conference on

Advanced Materials and Processing (PRICM 7), 6 pages, Vol.654-656 (2010), pp.1561-1564.

- [8] “Role of Dislocations Emitted from Grain Boundaries on Plastic Deformation of Ultrafine-Grained Materials”, *M. Kato, T. Kunimine, T. Fujii and S. Onaka: The 13th International Conference on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials (iib2010) [JIMIC-7], Mie, Japan, 1page, 2010.
- [9] “Texture Evolution in ARB Processed Commercial Purity Aluminium”, *Y. Miyajima, D. Kashioka, N. Tsuji: Mater. Sci. Forum, Vols.702-703 (2012), pp. 173-176. (ICOTOM16), 2 pages.
- [10] “The increase in toughness at low temperature by severe plastic deformation”, *K. Higashida, M. Tanaka, and T. Shimokawa: Extended Abstracts of the Int. Symp. on Giant Straining Process for Advanced Materials (GSAM 2010), 4 pages.
- [11] “Modeling Hardening Characteristics of Metallic Materials under Impact Loading based on Field Theory of Multiscale Plasticity”, *Y. Aoyagi and T. Hasebe: Abstracts of International Symposium on Explosion, Shock wave and High-energy reaction Phenomena 2010 (3rd ESHP Symposium), 1 page.
- [12] “Interatomic Potential-Based Dislocation Mechanics in the Quasicontinuum Method”, *T. Shimokawa: Proceedings of the 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM'11+), 5 pages.

(iii) 解説・総説論文（総数19編：以下には主要なもののみ示す）

- [1] “Processing of Nanostructured Metals and Alloys via Plastic Deformation”, Yuntian Zhu, Ruslan Z. Valiev, Terrence G. Langdon, Nobuhiro Tsuji, and Ke Lu: MRS Bulletin Vol.35 (2010), No.12, pp.977-981.
- [2] “電子線トモグラフィによる転位の三次元可視化技術”、田中将己、東田賢二、金子賢治、光原昌寿、波多聰：顕微鏡, Vol. 45, No. 2 (2010), pp.103-108.
- [3] 「強度・延性を両立したナノ・メゾ調和組織材料の開発」、飴山恵，：OHM，2011年11月号，pp.8-9.
- [4] “Grain boundaries in ultrafine grained materials processed by severe plastic deformation and related phenomena”, X. Sauvage, G. Wilde, S. Divinsky, Z. Horita and R.Z. Valiev: Materials Science and Engineering, A540, 1-12, (2012)
- [5] “加工プロセスによる組織微細化と材料の強靱化”、井上忠信、木村勇次：金属 Vol.81 (2011), No.8, pp.641-648.
- [6] “Fatigue of Ultrafine Grained Light Alloys”, Y. Estrin and A. Vinogradov: : *Int. J. of Fatigue*, Vol. 32 (2010), Issue 6, pp.898-907.
- [7] “粒界の転位源能力に関する原子スケール計算機実験”、下川智嗣：まてりあ， Vol.50, No.8, (2011), pp. 346-352.

(iv) 著書（総数20件：以下には主要なもののみ示す）

- [1] “Nanostructured Metals and Alloys: Processing, microstructure, mechanical properties and applications”, Edited by Sung H. Whang, Woodhead Publishing Ltd., Oxford-Cambridge-Philadelphia-New Delhi (2011), total 840 pages.
Chapter 2 Bulk Nanostructured Metals and Alloys Produced by Accumulative Roll-Bonding: N. Tsuji

Chapter 22 Application of Nanostructured Steel Sheets to Automotive Body Structures: Y.Okitsu and N.Tsuji

- [2] “Advanced Steels The Recent Scenario in Steel Science and Technology”, Edited by Y.Weng, H.Dong, Y.Gan, Springer-Verlag Berlin Heidelberg and Metallurgical Industry Press (2011), 511 pages. ISBN-10: 364217664X, ISBN-13: 978-3642176647
“Ways to Manage Both Strength and Ductility in Nanostructured Steels”: N.Tsuji, pp.119-130.
- [3] “Springer Handbook of Metrology and Testing”, Edited by H.Czichos, T.Saito, L. Smith and M. Leslie, Springer, Germany, (2011), pp. 333-352., Y.Tomota.
- [4] “Book Series on Complex Metallic Alloys-Vol. 4, Mechanical Properties of Complex Intermetallics”, Editor: Ester Belin-Ferre, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., France, (2010), pp. 273-316.Chapter 8: “Formation of High-Strength Nanocrystalline Alloys and Their Mechanical Properties”
Tohru Yamasaki
- [5] “しくみ図解『金属加工が一番わかる』 製造業の基礎が身につく金属加工の方法”, 監修: 井上忠信, 技術評論社, (2011), pp.90-118.
- [6] “Molecular Modeling and Multiscaling Issues for Electronic Material Applications”, Editor: N. Iwamoto, Matthew M. F. Yuen and H. Fan, Springer, (2012), pp.55-75.
Chapter 4: “ROLES OF GRAIN BOUNDARIES IN THE STRENGTH OF METALS BY USING ATOMIC SIMULATIONS”, T. Shimokawa

(v) 国内・国際学会発表（総数628件：詳細省略）

(vi) 特許（出願7件：以下には主要なもののみ示す）

- [1] “高強度マグネシウム合金材料を製造する方法およびマグネシウム合金製の棒材”、発明者 三浦博己、出願人 電気通信大学、出願番号2011-143042、出願日2011/06/28
- [2] 熱電材料の製造方法および熱電材料、発明者：林 高廣、堀田善治、出願国：日本（国際特許分類 HOIL 35/36）、出願番号：2010-255634 平成22年11月16日

(vii) 受賞（総数77件、うち40歳未満の若手によるもの14件、ポスター賞など学生の受賞41件：以下には主要なもののみ示す）

- [1] 第20回日本金属学会奨励賞（組織部門）；柴田曉伸
- [2] 第1回 日本金属学会 まてりあ論文賞；波多聰、光原昌寿、田中將己、宮崎裕也、池田賢一、金子賢治、中島英治、東田賢二、松村晶
- [3] 日本金属学会第58回論文賞（物性部門）；君塚 肇、森英喜、牛田裕己、尾方成信
- [4] 第6回日本物理学会若手奨励賞；君塚 肇
- [5] 第58回日本金属学会まてりあ論文賞；酒井拓、三浦博己
- [6] 文部科学大臣科学技術賞（研究部門）2011.4.；堀田善治
- [7] 2011年（社）日本金属学会 奨励賞（組織部門）；宮嶋陽司
- [8] Young Scientist Award, International Symposium on Explosion, Shock wave and High-energy reaction Phenomena 2010 (3rd ESHP Symposium)；Y. Aoyagi
- [9] 文部科学大臣若手科学者賞(科学技術部門)；高橋幸生
- [10] 第70回 日本金属学会功績賞 材料プロセッシング部門；上田正人
- [11] 平成23年度日本材料学会 学術奨励賞；君塚 肇
- [12] 平成24年度日本鉄鋼協会 研究奨励賞；田中將己
- [13] 平成23年度日本計算工学会 論文奨励賞；渡邊育夢

(2) ホームページなど

(i) 領域のホームページ (アクセス数10,079 (2012.6.28))

日本語版 : <http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/index.html>

英語版 : http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/index_e.html



(ii) ニュースレター (PDF版を上記HPに公開)

第1号 (No.1, August 2011) : <http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/newsletter/no01.pdf>

第2号 (No.2, June 2011) : <http://www.bnm.mtl.kyoto-u.ac.jp/newsletter/no02.pdf>

(iii) 論文特集号

Materials Transactions, Vol.53, No.1 (2012):

<http://matjournal.org/index.php?mid=jindex&stage=jlist2&jid=MATERTRANS&vol=53&no=1>

「Special Issue on Advanced Materials Science in Bulk Nanostructured Metals」 24編収録

Materials Transactions, No. 54, No.9 (2013) 【予定】

「Special Issue on Advanced Materials Science in Bulk Nanostructured Metals II」

(3) 関連の公開会議・シンポジウムなど

(i) 国際会議

日付	タイトル	開催場所
2010.11.19-22	GSAM 2010 (Int. Symp. on Giant Straining Process for Advanced Materials) (共催)	九州大学西新プラザ
2011.3.7-8	日独ナノ材料 シンポジウム(The 4th German-Japanese Symposium on Nanostructures) (共催)	立命館大学びわこ草津キャンパス
2011.3.21-25	Int. Conf. on Nanostructured Materials by Severe Plastic Deformation (NanoSPD 5) (協賛)	中国、南京工科大学
2011.10.29	「構造用材料国際産学連携・日中ワークショップ」(協賛)	立命館大学
2012.6.26-29	Int. Workshop on Bulk Nanostructured Metals (主催)	京都大学時計台記念ホール

(ii) 国内会議・シンポジウムなど

日付	タイトル	開催場所
2011.1.22	日本鉄鋼協会・日本金属学会中国四国支部 第40回材質制御研究会「バルクナノメタルの力学特性と関連する諸物理現象」	高松
2011.6.25	日本材料学会塑性力学分科会「金属材料における粒界の役割 —実験・理論・計算機シミュレーションから見えてくること—」	学術総合センター(東京)
2011.9.14	日本金属学会セミナー「バルクナノメタル 構造用金属材料の新たな可能性」	東京・神田・エッサムこだまホール
2011.10.21	第55回日本学術会議材料工学連合講演会「0S3 構造・機能性材料としてのバルクナノメタル」	京都教育文化センター
2011.11.7	日本金属学会2011年秋期(第149回)大会 公募シンポジウム「S3 バルクナノメタル」	沖縄コンベンションセンター およびカルチャーリゾートフェストーネ
2012.5.19	軽金属学会2012年春期(第122回)大会 テーマセッション T1「超微細粒がもたらす軽金属材料の新しい可能性」	九州大学 伊都キャンパス
2012.9.17-19	日本金属学会2012年秋期大会 公募シンポジウム「S1 バルクナノメタル II」	愛媛大学

(iii) 国際会議基調・招待講演 (総数96件、うち40歳未満の若手研究者によるもの14件：以下には主要なもののみ示す)

[1] The 13th Int. Conf. on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials (iib 2010) (JIMIC-7) , June 27-July 2, 2010, Toba, Japan.

“Role of Grain Boundaries in Mechanical Properties of Bulk Nanostructured Metals”

- N.Tsuji **【Invited Lecture】**
- [2] 52nd International Field Emission Symposium, July 5-8, 2010, Sydney, Australia
“Broadening the applications of the atom probe technique by ultraviolet femtosecond laser”
K. Hono et al. **【Invited Lecture】**
- [3] International Conference on Electron Nanoscopy & XXXII Annual Meeting of EMSI, July 6-8, 2011, Hyderabad, India
“High-angle triple-axis specimen holders developed for electron tomography”
○S. Hata, H. Miyazaki, S. Miyazaki, M. Mitsuhashi, S. Matsumura, K. Kimoto, K. Ikeda, H. Nakashima
【Invited Lecture】
- [4] Thermec 2011: Severe Plastic Deformation, August 1-5, 2011, Quebec City, Canada
“Mechanical Properties of Surface-Nanocrystallized Carbon-Steels Produced by SPD”
○Y. Todaka, K. Koujina, T. Yakushiji, H. Nagai, Y. Iguchi, M. Umemoto **【Invited Lecture】**
- [5] Int. Symp. on Multi-scale Modeling and Simulation of Materials, July 5-10, 2010, Shenyang, China.
“Modeling of Dynamic Processes in Nanoscale Systems”
○S. Ogata **【Invited Lecture】**
- [6] The 12th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA12), September 2010, Yokohama, Japan.
“First-Principles Study of the Bonding and Mechanical Properties of Metallic Grain Boundaries”
○M. Kohyama, S. Tanaka, R.Z. Wang, Y. Shihara, S. Saitou, T. Tamura and S. Ishibashi. **【Invited Lecture】**
- [7] The 13th International Conference on Intergranular and Interphase Boundaries in Materials (iib2010) [JIMIC-7], June 27-July 2, Mie, Japan.
“Role of Dislocations Emitted from Grain Boundaries on Plastic Deformation of Ultrafine-Grained Materials”
○M. Kato **【Invited Lecture】**
- [8] International Top Scientists Forum Wuhan 2011, November 10, 2011, Wuhan University of Science & Technology, China
“Development of Scale-Bridging 3D In Situ Measurement Methods for Steel Research”
○Y. Tomota **【Invited lecture】**
- [9] TMS 2012 Annual Meeting and Exhibition Ultrafine-Grained Materials: Seventh International Symposium (UFG-VII), March 11-15, 2012, Orlando, FL, USA
“Application of High-Pressure Sliding for Bismuth-Telluride Thermoelectric Materials”
K. Tazoe, K. Mitarai, T. Hyashi, S. Munetoh and ○Z. Horita **【Invited Presentation】**
- [10] TMS2012, p. 506, Mar.11-Mar.15, 2012 Orlando, Florida, USA.
“Work Hardening of Nanocrystalline Ni-W Alloys”
○T. Yamasaki and K. Fujita **【Invited Presentation】**
- [11] NIMS Conference 2012, Structural Materials Science and Strategy for Sustainability – Back to the Basics –, 2012.6.4-6, Tsukuba International Congress Center
“Atomic Simulations of Dislocation Emission Phenomena from Grain Boundaries”
○Tomotsugu Shimokawa **【Invited Presentation】**

(iv) 国内会議招待講演（総数85件、うち40歳未満の若手研究者によるもの22件：以下には主要なもののみ示す）

- [1] ○辻 伸泰
バルクナノメタル：常識を覆す構造用金属材料
京都産学公連携フォーラム 2010、京都工業会館；2010.11.12. **【招待講演】**
- [2] ○波多聡
金属材料の TEM トモグラフィ観察における進展

平成 22 年度日本顕微鏡学会北海道支部学術講演会、酪農学園大学、北海道江別市、2010.12.11. 【招待講演】

- [3] ○上路林太郎
高 Mn オーステナイト鋼の TRIP および TWIP に及ぼす結晶粒微細化の影響
日本金属学会, 2011 年秋季講演大会、沖縄・カルチャーリゾートフェストーネ、2011.11.8
【基調講演】
- [4] ○香山正憲、斎藤繁喜、田中真悟、椎原良典、石橋章司
第一原理による局所エネルギー密度・局所応力密度解析：粒界・界面への適用
第 1 回マルチスケールマテリアルモデリングシンポジウム（第 16 回分子動力シンポジウム）、大阪大学、2011.5.24 【招待講演】
- [5] ○下川智嗣、田中將紀、東田賢二
バルクナノメタルの破壊靱性値に対する粒界の役割-実験・理論・シミュレーションの融合による提案-
日本金属学会 2011 年秋期（第 149 回）大会、沖縄コンベンションセンターおよびカルチャーリゾートフェストーネ、2011.11.8 【基調講演】
- [6] ○高橋幸生
高分解能コヒーレント X 線回折顕微法の現状と将来展望
日本顕微鏡学会電顕技術開発若手研究部会ワークショップ「様々なイメージング技術の現状と展望」、名古屋ファインセラミックスセンター、2012.1.5.、【招待講演】
- [7] ○西寄照和、李昇原、堀田善治、小林典男
巨大ひずみ加工により結晶粒を微細化した Nb の磁化特性 -バルクナノメタルの超伝導-
金属材料研究所共同利用研究会「ナノ構造超伝導体」、東北大学金属材料研究所、2011.12.26.、
【招待講演】
- [8] ○井 誠一郎
実際の粒界構造を見る -超微細粒金属材料における粒界原子構造の高分解能電子顕微鏡観察
日本材料学会 塑性力学分科会、学術総合センター、2011.06.25 【招待講演】
- [9] ○井上忠信
“層状破壊を活用した超微細粒鋼の強靱化”
第 55 回材料強度と破壊総合シンポジウム、主催：(独)日本学術振興会第 129 委員会、東京大学山上会館大会議室、2012.3.27 【招待講演】

(v) 報道（総数20件）

- [1] マグネシウム合金 「世界一の強度」 開発 電通大、レアアース不要、日本経済新聞：三浦博己
- [2] No Rare Earth Metals Required! An Ultra-strong Magnesium Alloy、NHK多言語放送「Radio Japan Focus, New Technology for the Age of Rare Metal (1) : 三浦博己、2011年2月7
- [3] 20111014科学新聞_大視野・高分解能X線顕微鏡：高橋幸生
- [4] 20110929読売新聞_原子見分ける顕微鏡：高橋幸生

(4) 国民との科学・技術対話

- [1] 電気通信大学オープンキャンパスでバルクナノマグネシウム合金の展示(2010-7、11、2011-7、11 合計4回)、三浦博己
- [2] 2010年8月:(長崎県サイエンスパーク):長崎県の小学生にバルクナノアルミニウムの特性について説明し、身近にあるアルミニウムについて知ってもらった。堀田善治
- [3] 2010年8月、2011年8月:(高校生への九州大学オープンキャンパス):身近に使用されているアルミニウム製品を展示し、アルミニウムの有用性を知ってもらった。堀田善治
- [4] 京都大学ジュニアキャンパス2011(中学生対象):ゼミ・金属材料組織学 金属の内部構造をナノスケールでのぞいてみよう、辻 伸泰、寺田大将、柴田暁伸、2011年9月18日
- [5] 2011年12月13日:兵庫県立大学附属高校3年生への高大連携授業と研究紹介、土田紀之
- [6] 2012年5月:東京工業大学大学祭(すずかけ祭)における結晶模型の展示、説明、尾中 晋
- [7] 東京電機大学東京千住キャンパスのオープンキャンパスで強せん断加工(フリーモーションECAE加工)後の硬さの変化等を実際に測定することで、微細化による強度が高まる現象を紹介する(2012, 6/17(日),8/4(土), 5(日)予定)。柳田明
- [8] 京都大学ジュニアキャンパス2012(中学生対象):ゼミ・バルクナノメタルが拓く新しい構造材料、辻 伸泰、寺田大将、柴田暁伸、2012年9月22日(予定)

2011年9月実施の京都大学ジュニアキャンパスのアンケート結果を以下に記す。

日時:2011年9月18日 14:30-16:00

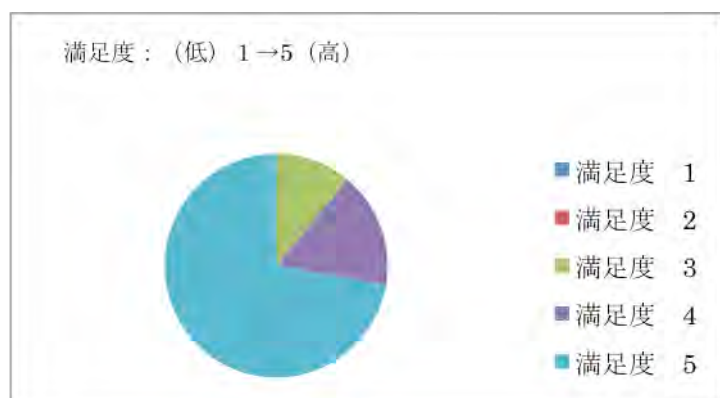
場所:京都大学吉田キャンパス 工学部総合校舎 102号室、613実験室ほか

参加者数:中学生19名(うち保護者4名)

アンケート回収18名

【性別】男性16名、女性2名 【年齢】10代14名、40代4名

◆満足度 その理由(任意記入)



満足度1:0名

満足度2:0名

満足度3:2名(11%)

・中学生には難しすぎるような気がしました

満足度4:3名(17%)

・研究所の中を知ることができた

- ・金属に対する工夫などで知らなかった事があったから

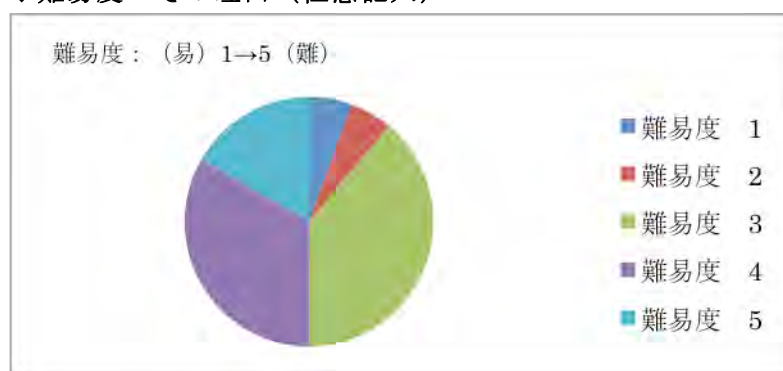
満足度5：13名（72%）

・子供が元素に興味を持っていたので周期表も一緒に見たりしていました。とても楽しい講座でありがとうございました

・実際の実験/研究機材を見せて頂いたり、研究員の皆さんからお話を聞いた事は、子供達に良い刺激になったと思います

- ・他の講座と違い実験等があったから
- ・金属の構造がよく分かった
- ・研究室の様子が観察できた
- ・金属の性質の原因を知ることができた
- ・実験できたのが楽しかったから
- ・色々なことに興味を持てた
- ・解説が分かりやすかった

◆難易度 その理由（任意記入）



難易度1：1名（6%）

- ・テーマ自体は難しいものなのですが、理解しやすい内容だと思いました

難易度2：1名（6%）

- ・学校で習った部分もあったから

難易度3：7名（39%）

- ・初めての内容であったから
- ・知っていることもあったし知らないこともあった
- ・簡単な所もあったが難しい所もあったから

難易度4：6名（33%）

- ・中学校では習わないようなことが沢山でてきたから
- ・ナノなど、普段聞きなれないものが出てきたこと

難易度5：3名（17%）

・金属の種類による、重さ、磁石につくか…など特徴の差異のところは取っつきやすかったが、金属結合、結晶欠陥となると、理解困難ではなかったかと思う

- ・難しかったけれど、金属のことを色々知ることができて良かったです

◆ご意見、ご要望など（任意記入）

- ・電子顕微鏡が見られて良かった
- ・金属をまた調べたいと思った
- ・金属にとっても興味を持ってました
- ・電子顕微鏡を見られたのが特に思い出に残りました

6. 研究組織と各研究項目の連携状況

本研究領域の研究組織は、以下の表に示すとおりである。

A01 バルクナノメタルの材料設計概念の確立	
A01ア：バルクナノメタルの材料設計	
研究代表者	辻 伸泰（京都大学）
研究分担者	宝野和博（NIMS）、波多 聡（九州大学）、戸高義一（豊橋技科大学）、上路林太郎（香川大学）、寺田大将（京都大学）、柴田暁伸（京都大学）
A01イ：第一原理計算によるバルクナノメタルの基礎物性設計	
研究代表者	尾方成信（大阪大学）
研究分担者	香山正憲（産総研）
連携研究者	君塚 肇（大阪大学）、田中真悟（産総研）
公募班（2011～2012年度）	
	西寄照和（東北大学）、高橋幸生（大阪大学）、中野博昭（九州大学）、西田 稔（九州大学）、上田正人（関西大学）、加藤寛敬（福井高専）
A02 多様なプロセスによるバルクナノメタルの製造手法の確立	
A02ウ：構造精密制御したバルクナノメタルの創製	
研究代表者	堀田善治（九州大学）
研究分担者	土谷浩一（NIMS）、飴山 惠（立命館大学）、山崎 徹（兵庫県立大学）、三浦博己（電気通信大学）
A02エ：バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション	
研究代表者	柳本 潤（東京大学）
研究分担者	井上忠信（NIMS）、土田紀之（兵庫県立大学）、柳田 明（東京電機大学）
公募班（2011～2012年度）	
	金 熙榮（筑波大学）、宮本博之（同志社大学）、井誠一郎（NIMS）、渡邊育夢（NIMS）、古田忠彦（豊田中研）
A03 バルクナノメタルの特異な力学特性の解明と体系化	
A03オ：バルクナノメタルにおける力学特性の解明と変形理論構築	
研究代表者	加藤雅治（東京工業大学）
研究分担者	尾中 晋（東京工業大学）、友田 陽（茨城大学）、Vinogradov Alexei（大阪市立大学、2010年度～2011年度）、金子佳久（大阪市立大学、2012年度から）、田中將己（九州大学）、紙川尚也（東北大学）、藤居俊之（東京工業大学）、宮嶋陽司（東京工業大学）
A03カ：内部欠陥構造発展の大規模計算によるバルクナノメタルの力学特性解析	
研究代表者	下川智嗣（金沢大学）
研究分担者	青柳吉輝（東北大学）、都留智仁（原子力機構、2012年度から）
公募班（2011～2012年度）	
	佐藤裕之（弘前大学）、峯 洋二（熊本大学）、高木秀有（日本大学）

また、下記の総括班（X00）が設置されており、外部評価者を組織している。

X00 バルクナノメタル新学術領域の連携的な運営と統括	
研究代表者	辻 伸泰（京都大学）
研究分担者	尾方成信（大阪大学）、堀田善治（九州大学）、柳本 潤（東京大学）、加藤雅治（東京工業大学）、下川智嗣（金沢大学）
外部評価者	潮田浩作（新日本製鐵）、前田恭志（神戸製鋼所）、中西栄三郎（日産自動車（現・東京製鐵））、幾原雄一（東京大学）、森永正彦（名古屋大学名誉教授）、渋谷陽二（大阪大学）

各研究組織の間の関係を下図に示す。当初計画された役割分担が十分機能している。

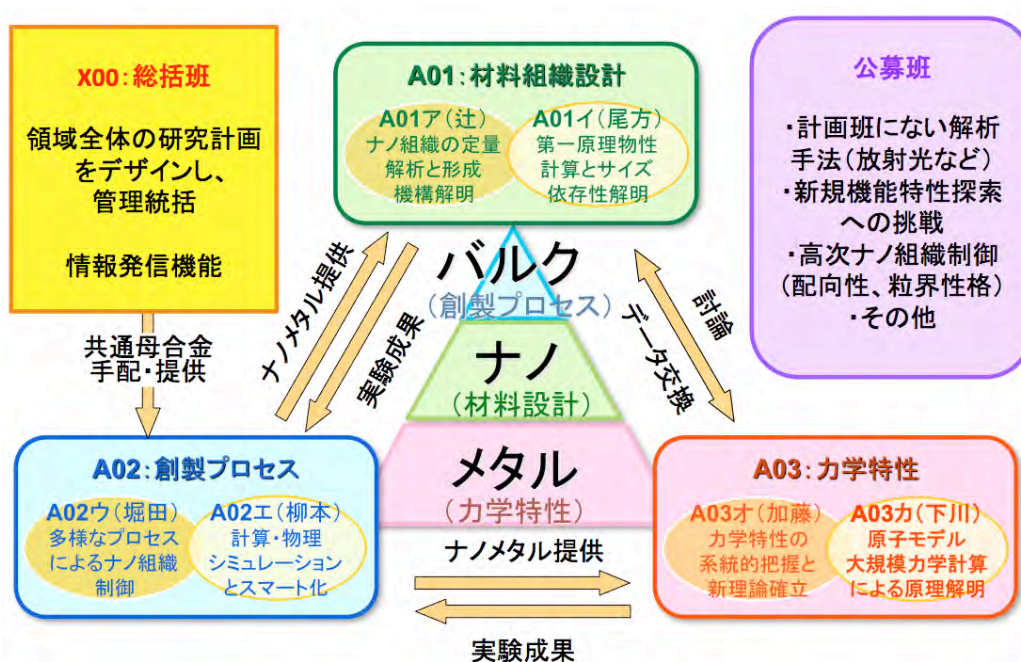


図 本領域の研究組織

各研究項目内に複数の機関の研究者が所属しているが、その連携は極めて密に取られている。また、総括班X00を介して、各研究項目間の連携状況も極めて良好である。総括班X00「バルクナノメタル新学術領域の連携的な運営と統括」は、密接な対話を通じて各班の研究状況を整理・統合し、研究全体のベクトルを制御する役割を担っている。初年度に事務局を京都大学に設置し、領域のウェブサイトやメーリングリストを整備した。事務局は、領域内の全体集会や各グループの研究集会の開催事務等も行っている。領域内の共通実験試料として、平成22年度に鉄系合金2種、非鉄系合金6種を、平成23年度にも鉄系合金1種、非鉄系合金2種を作製（外部発注）して、これらを用いる各班の研究グループに配布し、共同研究活発化を計った。また、研究グループ間のマッチングを行い、共同・連携研究の開始に資している。「5. 研究成果の公表の状況」で具体的に示すように、国際会議や国内の種々の学会でのシンポジウム等の企画を行い、討論を活性化させるとともに、領域の成果の発信にも寄与している。

良好な連携が計られている事を示す実例として、領域発足以降、各班および複数の班間で、下記の表に示すように多数回の研究会・勉強会が頻繁に開催されている。また、2011年度から計14件の公募研究が採択され領域に加わっているが、これら公募班への実験試料や情報の提供も上記のように総括班が仲立ちになるなどして迅速になされ、2年間という公募班の限られた研究期間内でのスムーズな研究開始を実現している。この結果、各グループで得られた結果や情報が良く共有され、その結果が、「5. 研究成果の公表の状況」に示したように、多数の連携共著論文としての発表につながっている。

日付	タイトル	開催場所
2010.7.12	第1回A03カ班勉強会	金沢大学
2010.8.16	第1回ミーティング(A02ウ班)	九州大学東京オフィス
2010.9.11	「バルクナノメタル」キックオフミーティング	京都大学
2010.10.4	A01班(戸高・上路)、A03班(田中)との勉強会	香川大学
2010.10.29	バルクナノメタル計算モデリング関連研究会(A01イ班、A03カ班)	産業技術総合研究所関西センター
2010.10.29	第2回勉強会(A02ウ班)	九州大学東京オフィス
2010.11.9	第1回A03班合同勉強会	東北大学東京分室
2010.11.16	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第1回会議(A02エ班主催)	東京大学生産技術研究所
2011.3.1	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第2回会議(A02エ班主催)	物質・材料研究機構
2011.3.16	「バルクナノメタル」第1年度研究報告会(震災のため中止)	京都大学東京オフィス
2011.5.10-11	「バルクナノメタル新学術領域」全体研究会	キャンパスプラザ京都
2011.5.17	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第3回会議(A02エ班主催)	兵庫県立大学工学部
2011.6.30	第2回A03オ・カ班合同勉強会	東北大学東京分室
2011.7.7-8	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第4回会議と日本製鋼所見学(A02エ班主催)	室蘭
2011.9.13	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第5回会議(A02エ班主催)	東京電機大学
2011.9.30-10.1	「バルクナノメタル新学術領域」全体研究会	九州大学
2011.12.3	A02ウ班勉強会	九州大学東京オフィス
2011.12.9	A01ア班勉強会	京都
2011.12.12	第2回A03カ班勉強会	金沢大学
2012.1.31	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第6回会議(A02エ班主催)	姫路
2012.2.23	第2回バルクナノメタル計算モデリング関連研究会(A01イ班主催)	大阪大学基礎工学研究科
2012.3.9-10	「バルクナノメタル」2011年度全体最終報告会	京都大学
2012.5.29	「バルクナノメタル創製の計算機・物理シミュレーション」第7回会議(A02エ班主催)	東京電機大学

7. 研究費の使用状況

研究費は、バルクナノメタル研究のために有効に使用されている。実験研究で必要となる合金資料の購入や消耗品の購入はもちろんのこと、本領域内では異なる機関・研究室間の連携研究が多いため、実験・討論のための旅費としても効果的に用いられている。前述した共通試料は総括班X00の経費で購入、送付され、連携研究に資している。また、ポスドク研究員の雇用費として用いているグループも複数有り、研究の推進に寄与している。特にポスドク雇用は、計算グループにおいて有効に働いている。計算グループにおいては、ポスドクの他に、「マルチスケール並列計算機システム」、「大規模SMP計算サーバ」、「並列ワークステーション」などが導入され、パワフルな計算研究を可能としている。

本バルクナノメタルの実験研究では、バルクナノメタル試料を作製することが最初に必要なとなる。多様なプロセスでバルクナノメタルを作製するために、下記のような設備が本研究費で導入され、活用されている。

- ・ ARB加工用圧延機及び周辺装置（京都大学）
- ・ Mg合金多軸鍛造装置（電気通信大学）
- ・ 電析ナノ材料作製装置（兵庫県立大学）
- ・ 極低温粉末ミリング装置（立命館大学）
- ・ フリーモーションECAE装置（東京電機大学）

これにより、本領域では、種々の巨大ひずみ加工法（ARB, ECAE, HPT、多軸鍛造、フリーモーションECAE）のほか、電析法や極低温粉末法などによってもバルクナノメタル材料を作製することが可能となっている。これはそれぞれの装置を導入した各研究室の研究を発展させることはもちろん、バルクナノメタル試料の作製・配布を通じて、領域内の連携研究を大きく活性化させ、世界的に見ても本領域の大きな強みとなっている。

また、様々な最先端材料解析手法によってバルクナノメタルをナノスケールで解析することも本領域研究の特徴であるが、そのために下記のような設備が導入されている。

- ・ プリセッション電子回折システム(九州大学)
- ・ FE-SEM用試料加熱ステージ(豊橋技科大学)
- ・ J-PARC小角散乱「大観」用小型引張試験装置(茨城大学)
- ・ Spring-8コヒーレントブラッグ回折測定用の試料ステージ(大阪大学)

中でもプリセッション電子回折システムは、国内の教育・研究機関としては初めて導入されたものであり、バルクナノメタルの方位解析に威力を発揮する。またJ-PARCに導入された設備により、引張圧縮および加熱冷却中のその場中性子回折実験法が可能となっている。これら最先端解析法は、領域内の他グループのバルクナノ材料解析を異なるレベルに引き上げるだけでなく、広く材料研究に資することのできる設備の拡充という意味でも意義が大きい。

また、国内外の関連研究者を招聘し、本領域で得られた成果を議論しアイデアを交換することにも有効に使われている。すでに述べたバルクナノメタル国際WSにおける外国人招待講演者の他に、MIT・Yip教授、Univ. Texas・Ferreira教授、Wollongong Univ.・Pereloma教授などの招聘を実現し、セミナー・討論会を開催している。

ところで冒頭でも述べたように、本領域では、新進気鋭の若手研究者を多数参画させ、国際競争力を有する人材の育成にも力を入れている。本研究費により若手研究者の日常の研究室環境が整備され、研究の活発化につながっている。なお、必ずしも本領域の成果のみによるものとは言えないが、本領域に参加する若手研究者のうち、下記の4名が、領域発足後の過去2年間で異動・昇任されている。

- ・ 柳田 明 東京電気大准教授（横浜国大助教から）
- ・ 田中將己 九州大学准教授（九州大学助教から）
- ・ 青柳吉輝 東北大学准教授（原子力機構から）
- ・ 峯 洋二 熊本大学准教授（九州大学助教から）

また、研究室環境の充実に加え、本補助金によって学会・研究会・国際会議への大学院生の積極的な参加を促すことも可能となっている。下表には、本領域内で、バルクナノメタルに関する研究で卒業・学位取得を行った者の数を示す。本領域研究は、次代を担う若手の人材育成という目標に対しても、このように着実に成果を挙げている。

本領域内でのバルクナノメタル研究による卒業・学位取得者の数

年度	学部卒業	修士	博士
2010	33人	26人	2人
2011	44人	36人	11人
2012（見込み）	55人	41人	12人
合計	132人	103人	25人

8. 今後の研究領域の推進方策

すでに述べたように、領域の研究は着実に成果を挙げており、異なるグループ間の連携も密に取られている。本領域内におけるバルクナノメタルのプロセス・作製環境は、いまや世界随一の状況にあり、またそのナノ解析手法も世界最先端のレベルで充実している。したがって、領域全体の運営としては、これまでのやり方を踏襲しながら、チームを組んで行う新学術領域研究の利点を生かした研究展開をさらに指向し、本分野で世界をリードする研究成果を挙げていく。一方、個々の研究内容に関しては、下記に挙げるような課題が、過去2年間の研究によって浮かび上がっており、これらの解決に特に力を入れることによって、よりレベルの高い研究を目指す。

- ① バルクナノメタル材料科学における計算と実験の融合：材料科学分野における計算科学的手法の発達が近年めざましい。しかし、一般的に構造材料分野においては、計算科学の成果が必ずしも材料開発に生かされている状況には到達していない。これは、構造用金属材料が複雑な化学組成を持ち、さらに内部組織制御のための加工や熱処理プロセスが複雑であることに、一つは由来している。しかし、バルクナノメタルという比較的単純な組成の材料にターゲットを絞った本プロジェクトでは、先行の関連プロジェクトであった科研費特定領域「巨大ひずみ」の時代から計算と実験の融合を計ってきたこともあり、計算分野の研究者と実験研究者との間のコミュニケーションが当初よりスムーズに取れ、すでに述べたような連携研究成果がいくつか出始めている。今後はこの流れをさらに大きくするために、計算分野の研究者と実験研究者が互いに歩み寄り、共通の材料と現象を絞り込むことによって、それぞれ単独では達成できない現象の発見や理論の構築を目指す。深い連携の場を築き上げてきた本領域は、そのための格好の環境である。
- ② 強度と延性の両立の原理原則の解明：バルクナノメタルにおいて高い強度と十分な延性・靱性を示すことのできる実例が、本領域の研究によりいくつも明らかになっている。構造材料として最も重要なこの特性に焦点を絞り、計算によるバルク内部の可視化や、ナノスケールでの構造・組成解析を駆使して、強度と延性・靱性を両立するための基礎原理の解明を、プロジェクト終了までに目処をつける。
- ③ より複雑な系への適用：例えば第一原理計算では、基礎物性の電子・原子論レベルからの評価手法の確立を進めてきた。今後はこれらの手法を様々な元素によって構成されるバルクナノメタルに適用し、基礎物性の設計指針を確立していく。また、実験研究においてもこれまでは純金属系などの単純系を題材に多くの研究を行ってきた。しかし現実には、諸特性をバランス良く上げるために、少量・最適な化学組成調整（合金化）は不可欠であると考えられる。そこでこれまでの知見を、実験・計算両面でより複雑な系に展開し、バルクナノメタルにおける新たな材料設計概念を立ち上げる。これは、将来的にはバルクナノメタルの構造材料としての実用化につながる重要な研究方策となる。

9. 総括班評価者による評価の状況

「6. 研究組織と各研究項目の連携状況」に記したとおり、総括班X00に産学の外部有識者による評価者を組織しており、ニュースレターや各年度の研究成果報告書を送付しているほか、各年度末の成果報告会や研究会に出席していただき、講評や助言を受けている。下記に、現時点での評価者による評価コメントを掲載する。

潮田浩作（新日本製鐵・フェロー）

構造用金属材料分野の非連続的な飛躍を目指し、バルクナノの基礎研究が精力的に推進されている。強いリーダーシップにより、組織を越え、設計-創製-解析間の有機的連携、及び実験と計算の融合が意識的に図られ、多くの興味ある基礎的新知見が得られている。また、若手研究者の活躍も目立つ。時機を見た産業界への意識的な発信も今後期待したい。

前田恭志（神戸製鋼所・部長）

金属組織のサブミクロンレベルの構造に関して、分析手法、計算手法、実験手法など多面的なアプローチから総合的な研究がなされており、新たな基礎技術への進展が期待できる。バルクナノメタル自身の工業的な製造には、課題があると思われるが、既存製品の特性改善や既存プロセスの改善への新しいアイデアへの展開も期待できる。今後とも、各要素技術に関しては、ますますの深化をお願いしたい。

幾原雄一（東京大学・教授）

本新学術領域は、バルクナノメタルの本質的メカニズムを明らかにし、得られた知見を材料設計に応用することを目指す内容であり、今後の構造材料分野の発展のための基盤となる研究分野である。また、ナノ計測と理論計算を上手く用いて材料プロセスへアプローチしており、今後のわが国の元素戦略・希少代替材料開発にも展開できる可能性も高い。計画班同志の連携も上手く進んでいるものと判断できる。従来 of 転位論を超克した強度学の確立は大いに期待したいところである。本領域の優れたメンバーを結集し、さらにステップアップした成果を得ることを期待したい。

森永正彦（名古屋大学・名誉教授）

「バルクナノメタル」の材料設計、創製プロセス及び力学特性について、実験とシミュレーションがうまく融合した研究が展開されている。また、基礎から応用に至る幅広い研究が行われているのもよい。新しい材料科学領域の創生に向けて、決して結論を急ぐことなく、粘り強い研究姿勢を貫いてほしい。個々の小結論よりも、むしろ異分野の研究者が協力して、将来の材料研究のコアとなる重要課題を抽出されることを期待している。

渋谷陽二（大阪大学・教授）

本学術領域は、研究代表のリーダーシップのもと、順調に研究が展開できている。適

切な時期での発表会から、学会を通じた成果の交流など積極的に実施されている。微細化の手法は多岐にわたり一長一短であるが、それらの微視的なメカニズムの深い理解と、巨視的な材料的・機械的特性との因果関係を明確にしようとする意図が明確にある。したがって、今後大きな成果が期待される。

2012年6月26日～29日に、本領域の研究成果を国際的に発表し討論する場として、**International Workshop on Bulk Nanostructured Metals** を、京都大学時計台記念ホールにおいて開催した。国内外の招待講演者20名の口頭発表と、主に若手研究者による58件のポスター発表が行われた。その際、下記の外国人招待講演者から、次頁に添付する評価コメントもいただいている。

外国人招待講演者リスト

氏名	所属	国名
Andrew Godfrey	Tsinghua University, Professor	P.R.China
Niels Hansen	Risoe-DTU, Senior Researcher	Denmark
Xiaoxu Huang	Risoe-DTU, Senior Researcher	Denmark
Hyoung-Seop Kim	POSTECH, Professor	Korea
Reinhard Pippan	Erich Schmid Institute of Materials Science, Professor	Austria
Nairong Tao	Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Senior Researcher	P.R.China
Gerhard Wilde	University of Munster, Professor	Germany
Michael Zehetbauer	University of Vienna, Professor	Austria
Ting Zhu	Georgia Institute of Technology, Professor	U.S.A.

Report on the Bulk Nanostructured Metals
(Project Leader: Prof. Nobuhiro Tsuji, Kyoto University)

A new research program entitled “Bulk Nanostructured Metals” (BNM program) was initiated in July 2010 and will terminate in March 2015. This program was supported by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, and was categorized in the Innovative Area of the Grant-in-Aid for Scientific Research scheme. The program was organized and led by Professor Nobuhiro Tsuji of the Department of Materials Science and Engineering at Kyoto University. The project aims to systematically clarify the relationship between the new and unexpected properties of bulk nanostructured metals and their structures through close collaborations of researchers in various fields covering experimental as well theoretical and simulation studies.

An international workshop on Bulk Nanostructured Metals was held in Kyoto during the dates of 26 -29 June 2012. More than 90 participants took part in this workshop with a strong representation from the research teams within the BNM program, plus a small group of invited speakers from other countries. The invited international speakers have been renewed experts with different areas in the field of nanostructured metals, and were invited to give an overall summary of their opinions on the BNM project and on the progresses achieved over the first half period of this 5-year program.

The views expressed in this brief report represent the collective opinions of a panel of the following international speakers: Prof. Andrew Godfrey (China), Dr. Niels Hansen (Denmark), Dr. Xiaoxu Huang (Denmark), Prof. Hyoung Seop Kim (Korea), Prof. Reinhard Pippan (Austria), Prof. Nairong Tao (China), Prof. Gerhard Wilde (Germany), Prof. Michael Zehetbauer (Austria), Prof. Ting Zhu (U.S.A.).

The panel formulated several major comments based on the review of the publications and research highlights, the BNM program newsletters, and the oral presentations and posters at the well planned and stimulating workshop. We describe our comments in the following.

1. Integration of experimental studies and theoretical approaches

An outstanding feature of this program is the emphasis on the integration of experimental studies and computer simulations. This integration is involved in all the three sub-topics in the program: structure design (A01), processing (A02) and mechanical properties (A03). Such an approach has led to advances and breakthroughs in all three research topics, which are demonstrated by the marked highlights reported in the BNM program newsletter (June 2012), and detailed in related publications.

2. Dissemination of results and outreach

Within the first half period of the BNM program, the research teams have already published more than 250 journal papers and more than 150 international conference proceedings papers. Such high production rate is extremely impressive. It is to be emphasized that about one third of the journal papers are published in high impact international journals in the fields of materials

science and physics. Furthermore, many of these articles published in international journals have been highly cited and ranked as within the top 25 publications in the related journals.

The team members within the program have been exceptionally active in presenting their results in conferences; more than 600 conference presentations have been made. During this workshop in Kyoto, we enjoyed all the presentations given by the scientists within the BNM program and in particular we were deeply impressed by the high quality of results presented in posters prepared by the many young researchers.

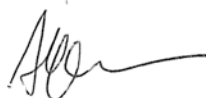
The project leader, as well as many other members from the program, are also very active in organizing/co-organizing international symposia/workshops where they advertised the work supported by the program and presented results from the program to a broad audience.

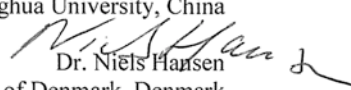
It is concluded that the quality of research conducted in the program is first-class and the scientific achievements are at a high international level. There is no doubt that the results and publications from this program will have a strong and sustaining impact on future research activities in materials science both in Japan and internationally.

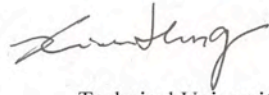
3. Collaborations between research teams within the BNM program

The requirement of combination of both experimental and simulation efforts in the BNM program establishes a basis for the collaboration among groups with different expertise, which is also an essential condition for the success of the program. From the high number of joint publications by different teams from different laboratories/universities, and the active discussions among different researchers (seniors and juniors) during the workshop, we can firmly conclude that the teams within the programs have interacted strongly with each other and made dedicated and efficient joint efforts to reach the targets of the program. We also believe that this has been an efficient condition for the teams to perform their research on an international high level.

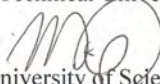
Our overall conclusions are very positive. The impressive achievements made within the first half period of this 5-year program demonstrate great success in all aspects covering the selection of research topics, coordination of research activities and teams, and performance of individual projects. It is evident that the success already obtained forms a solid basis for each research team within the program to accelerate their studies in the second half period of the program. We especially recognize the efforts of Prof. Tsuji for establishing this important and unique program and skillfully coordinating the various activities taking place in the program. Finally we take this opportunity to congratulate not only Prof. Tsuji but also all team members on their achievements and we look forward to following their progress within the framework of the BNM program.


Prof. Andrew Godfrey
Tsinghua University, China

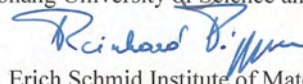

Dr. Niels Hansen
Technical University of Denmark, Denmark



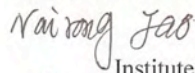
Dr. Xiaoxu Huang
Technical University of Denmark, Denmark



Prof. Hyoung Seop Kim
Pohang University of Science and Technology, Korea



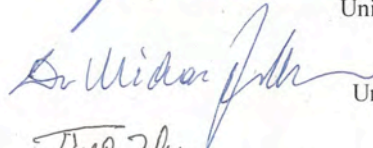
Dr. Reinhard Pippan
Erich Schmid Institute of Material Science, Austria



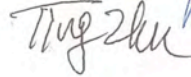
Prof. Nairong Tao
Institute of Metal Research, China



Prof. Gerhard Wilde
University of Münster, Germany



Prof. Michael Zehetbauer
University of Vienna, Australia



Prof. Ting Zhu
Georgia Institute of Technology, U.S.A.

28 June, 2012